

Institut de Médecine
d'Aviation Militaire Suisse
(Dr. K. Wiesinger P.-D.)
Dübendorf

Laboratoire de Cardiologie
(Professeur P. W. Duchosal)
Clinique Médicale
Université de Genève

L'ÉLECTROCARDIOGRAMME DES PILOTES EN VOL TRANSMIS PAR RADIO

THÈSE

PRÉSENTÉE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE L'UNIVERSITÉ
DE ZURICH POUR OBTENIR LE GRADE DE
DOCTEUR EN MÉDECINE

par

ROLF GLATT

de Känerkinden (Bâle-Campagne)

Acceptée sur le préavis du Professeur Oscar Wyss
et du Docteur K. Wiesinger P.-D.

Zurich 1953



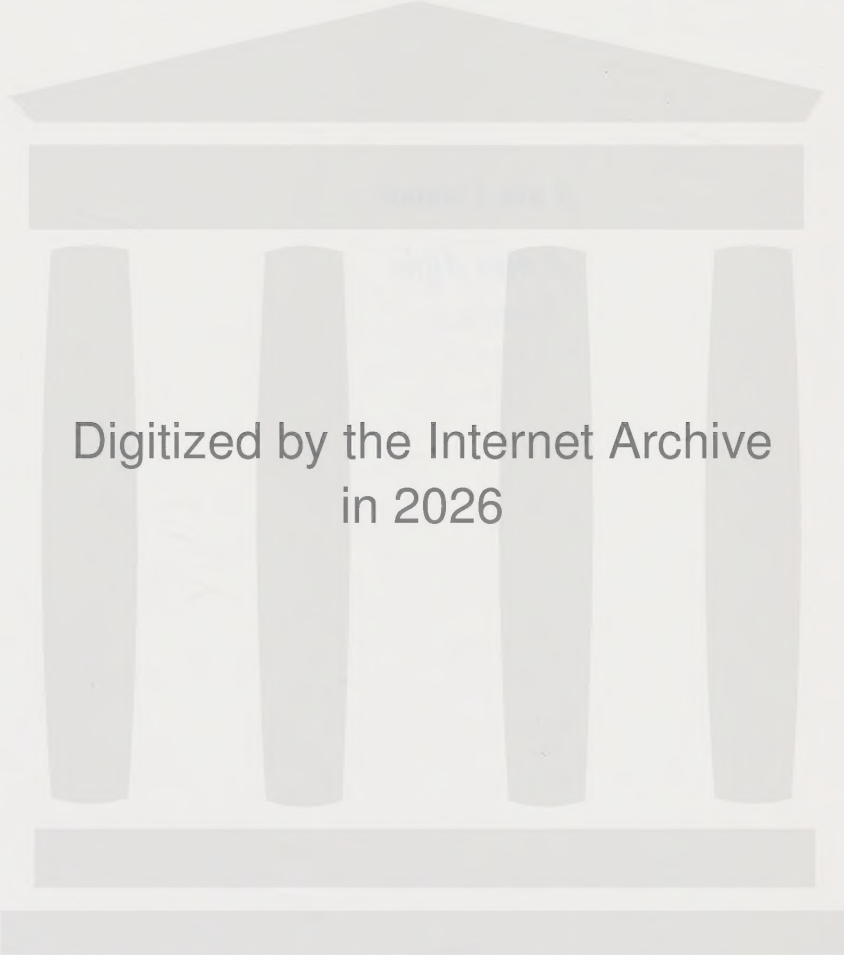
EDITIONS S. KARGER BÂLE



Tirage à part de la «Cardiologia» Vol. 22, Fasc. 4 (1953)

A ma Femme

A mes Amis



Digitized by the Internet Archive
in 2026

L'auteur tient à remercier vivement le Prof. *P. W. Duchosal* pour ses précieuses directives et son accueil toujours bienveillant.

Il remercie M. le Dr *K. Wiesinger* qui lui a accordé à l'Institut de Médecine d'Aviation Militaire le temps et l'usage de l'instrumentation nécessaires à ce travail.

L'auteur remercie également le Prof. *Wyss* qui a bien voulu contribuer à la correction de ce texte.

Il tient à exprimer toute sa gratitude au Chef du Service de l'Aviation et de la Défense contre Avions qui l'a fait bénéficier de la collaboration de ses services techniques, et lui a permis d'effectuer les vols nécessaires à ces expériences.

Le cœur d'un pilote en vol se trouve soumis à diverses influences, souvent brutales et rapidement variables : les accélérations, les variations de la pression atmosphérique, l'hypoxie ou l'hyperoxie, l'inhibition ou l'excitation nerveuses sont les plus importantes d'entre elles.

Le comportement du cœur soumis à ces influences a fait l'objet d'études nombreuses, notamment au moyen de l'électrocardiogramme. L'enregistrement de tracés électriques à bord d'un avion (1) se heurte cependant à des obstacles techniques et pratiques très sérieux dont voici un exemple : l'expert qui effectue ces enregistrements ne saurait être soumis aux mêmes influences cinétiques que le pilote, sous peine de compromettre entièrement ses observations et même ses manœuvres. Cette méthode ne s'est donc pas imposée. D'autre part, aucune technique appropriée n'a pu reproduire au sol les effets synergiques compliqués et puissants qui règnent à bord de l'avion en vol (2).

Cet exposé a pour but la présentation d'une méthode de transmission sans fil des potentiels cardiaques d'un sujet à bord d'un avion à une station terrestre, où l'électrocardiogramme peut être suivi et enregistré avec un degré d'exactitude répondant aux exigences d'une observation scientifique rigoureuse.

Principe de la transmission.

La transmission *directe* de l'électrocardiogramme du pilote (ou d'un sujet) en vol, par l'émetteur de bord, n'est pas possible, en raison, principalement, des faibles constantes de temps qui caractérisent les appareils courants utilisés dans le trafic aérien.

La méthode choisie est la suivante : les potentiels cardiaques modulent en fréquence un son continu engendré par une source auxiliaire. Ce courant sonore modulé est amené à l'émetteur de bord. Le signal émis est capté par un récepteur usuel au sol, qui restitue ce son modulé à un démodulateur, qui n'en rend que les impulsions dues au potentiel cardiaque primitif ; un électrocardiographe de type courant fixe alors le tracé.

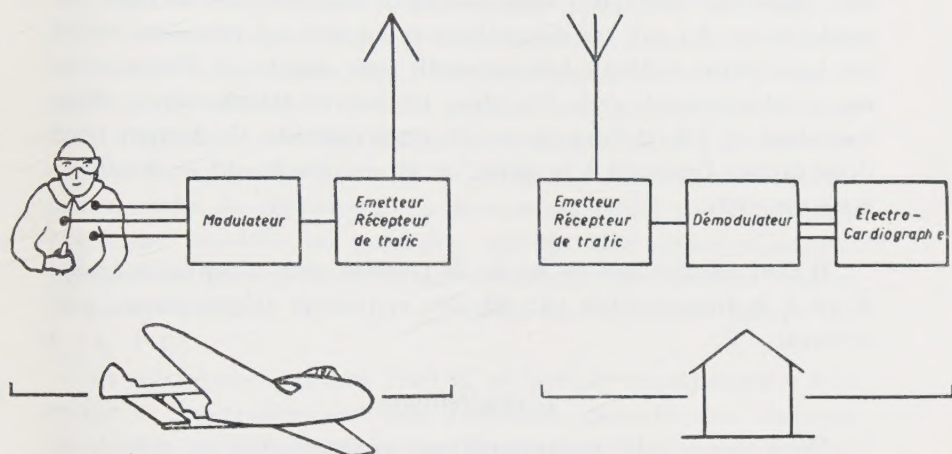


Fig. 1. Principe de la télé-transmission de l'ECG des pilotes en vol.

Le choix de la modulation de fréquence garantit à cette liaison une grande insensibilité aux parasites, de même qu'un étalonnage indépendant du « fading » et des variations de la distance de la liaison, pour autant, évidemment, que cette distance ne dépasse pas la portée de l'émetteur de bord. La modulation de fréquence permet également la transmission simultanée de plusieurs dérivations des potentiels cardiaques, ou encore d'autres mesures telles que l'accélération ou l'altitude, au moyen d'un seul canal de liaison.

L'intermédiaire d'une fréquence sonore, porteuse de l'électrocardiogramme, procure au dispositif plusieurs avantages, tels qu'une amplification particulièrement fidèle dans les systèmes à petite constante de temps (appareils usuels du trafic aérien), ou la possibilité d'enregistrement sous leur forme purement sonore,

des signaux émis, grâce à un enregistreur sur bande magnétique. On peut ainsi se dispenser de fixer immédiatement sur papier photographique les tracés d'une expérience entière. L'enregistrement sonore est à même de redonner en tout temps l'électrocardiogramme, par l'intermédiaire du démodulateur, soit sur l'écran d'un tube cathodique, pour l'examen extemporané, soit au moyen d'un électrocardiographe qui enregistre définitivement les passages choisis.

La transmission se fait donc partiellement par l'intermédiaire des appareils radio de bord standard auxquels est adjoint un modulateur. Au sol, un démodulateur adjoint au récepteur restitue les signaux initiaux. Ces appareils sont simples et d'un maniement relativement aisé. De plus, la liaison téléphonique entre l'aviateur en vol, et l'expert au sol, reste possible. Ce dernier peut donc diriger l'examen à sa guise, au vu des tracés qui se dessinent sous ses yeux.

Il faut ajouter que ce mode de transmission s'applique également à la transmission par fil, sur un réseau téléphonique, par exemple.

L'appareillage.

Nous avons établi un appareillage complet selon ces principes, et réalisé ce genre de liaison entre un avion « De Havilland Vampire » type DH 100, chasseur monoplace, et une station au sol.

Dérivation des potentiels cardiaques. Le sujet dont les potentiels cardiaques sont transmis ne peut être que le pilote, puisqu'il s'agit d'un avion monoplace. Les courants d'action des muscles squelettiques, naissant du fait des mouvements des bras nécessités par le pilotage de l'avion, nuisent à l'utilisation des dérivations standard I, II et III ; nous avons choisi pour cette raison les dérivations CF_1 à CF_5 .

L'électrode précordiale utilisée est du type à succion ; elle ne doit pas se déplacer sous l'effet des pressions du harnachement du pilote. L'électrode à la jambe est constituée par une plaque de métal inoxydable du type courant. La résistance électrique créée par ce mode de dérivation est de l'ordre de 1500 ohms.

Il est important de s'assurer d'une certaine isolation électrique du pilote par rapport à l'avion ; les précautions suivantes se sont

montrées satisfaisantes : 1° garniture isolante appliquée aux trois principales commandes de l'avion : le manche à balai, le levier des gaz et le stabilisateur des gouvernes de profondeur ; 2° port de gants de cuir, de vêtements de vol secs, et de chaussures à semelle caoutchoutée.

Appareil modulateur à bord de l'avion. Le souci de réaliser de façon simple une modulation linéaire ($\Delta F = k \Delta V$) nous a déterminé à choisir, parmi les principaux dispositifs classiques, l'oscillateur à battements comme source de la fréquence porteuse de l'électrocardiogramme, cela de préférence à l'oscillateur Hartley ou au multi-vibreur. Cette fréquence variant selon les potentiels cardiaques entre 2500 et 6000 périodes par seconde environ, est ainsi engendrée par l'interaction de deux oscillateurs à haute fréquence dont l'un est fixe (f_0), et l'autre (f_1) modulé en fréquence par un tube de glissement. Ce dernier est piloté par le potentiel cardiaque amplifié au préalable par un tube préamplificateur. Un système mélangeur-détecteur transmet à l'émetteur la fréquence basse résultante ($f_0 - f_1$), et retient les fréquences élevées (f_0 ; f_1 ; $f_0 + f_1$).

Ce modulateur, pesant 1800 g., et dont la consommation électrique et l'encombrement sont restreints, garantit une transmission fidèle malgré les vibrations du réacteur ou les accélérations de l'avion, et malgré les différences de pression atmosphérique ou de température. Il ne réclame aucune attention de la part du pilote en vol.

Pour la transmission simultanée d'une autre dérivation de l'électrocardiogramme, il n'y a en principe qu'à ajouter un second oscillateur variable (f_2), avec ses organes de commande, et élargir en suffisance le système mélangeur-détecteur. Il en irait de même avec chaque signal supplémentaire, autre dérivation de l'électrocardiogramme ou mesure d'une grandeur physique telle que l'accélération. Il ne s'agirait que d'éviter l'interférence des basses fréquences porteuses des différents signaux.

L'émetteur de bord utilisé développe une puissance d'émission ultra-haute fréquence de 3,5 watts.

Appareils au sol. Le récepteur, de type usuel, permet encore une excellente réception de l'électrocardiogramme à 80 km. de distance.

Un démodulateur intercalé entre le récepteur et l'électrocardiogramme est constitué par les dispositifs du discriminateur de fréquence selon Foster-Seeley, donnant une réponse linéaire ($\Delta V = k \cdot \Delta F$), jusqu'aux limites du taux de modulation. Un tube limiteur d'amplitude maintient à un niveau constant le signal admis au discriminateur ; les variations d'intensité du signal capté, telles qu'elles résultent de l'éloignement de l'avion, de ses évolutions ou du « fading », par exemple, ne peuvent ainsi se traduire en variations de potentiel électrocardiographique, sans compter qu'elles sont déjà considérablement réduites par le système de « contrôle automatique de volume » du récepteur.

Le discriminateur fournit, dans le système réalisé, un potentiel électrocardiographique de l'ordre de 1 volt, tension qui permet de piloter directement le dernier étage de l'électrocardiogramme, ce qui a l'avantage de garantir une grande fidélité de reproduction.

Pour la démodulation de plusieurs signaux transmis sur le même canal de liaison, il faut prévoir autant de démodulateurs accordés sur les fréquences respectives, qu'il y a de signaux transmis.

Application, résultats et discussion.

Plusieurs pilotes de l'Aviation Militaire Suisse furent examinés à l'aide de cette méthode. Il s'agissait évidemment de jeunes gens reconnus sains, ainsi qu'en font foi les examens médicaux de contrôle auxquels ils sont soumis périodiquement.

Le vol imposé comportait les opérations suivantes :

- A. Montée en 10 min. à 7000 m. sur mer.
- B. Vol horizontal de 2 min. avec 1 G¹, à la même altitude.
- C. Accélération positive, pendant 30 sec., progressivement engagée, en spirale légèrement descendante, jusqu'à 4 G. (Le pilote P. K. atteignit 6 G, valeur considérable pour un pilote de moyenne résistance physique.)

Les pilotes usaient dès le décollage d'un inhalateur à oxygène du type « constant-flow ». La teneur en oxygène de l'air inspiré, pour un volume inspiratoire de 12 l./min., peut s'évaluer comme suit :

¹ 1 G : valeur où aucune accélération ne naît du mouvement de l'avion ; la gravitation terrestre seule agit sur le pilote.

au sol (450 m. sur mer):	60 %
à 3000 m. sur mer :	80 %
à 5000 m. sur mer :	95 %
dès 5500 m. sur mer :	100 %

La tension d'oxygène alvéolaire, calculée approximativement, donne les résultats suivants :

Altitude	P. barom.	Respiration	P. O ₂ alv.
450 m. sur mer	722 mm. Hg	air	100 mm. Hg
6000 m. sur mer	355 mm. Hg	oxygène	270 mm. Hg
7000 m. sur mer	311 mm. Hg	oxygène	220 mm. Hg

La cabine étanche n'était pas mise sous pression ; l'altitude relative du pilote était donc sensiblement égale à l'altitude de vol.

Afin de mieux résister aux accélérations, les pilotes usèrent de manœuvres de Valsalva répétées.

Le présent travail rend compte des trois premières expériences appliquées à trois sujets, selon ce programme. Deux d'entre elles sont illustrées par des fragments de tracés reproduits par les fig. 2 et 3. Les modifications électrocardiographiques enregistrées lors de ces expériences sont les suivantes :

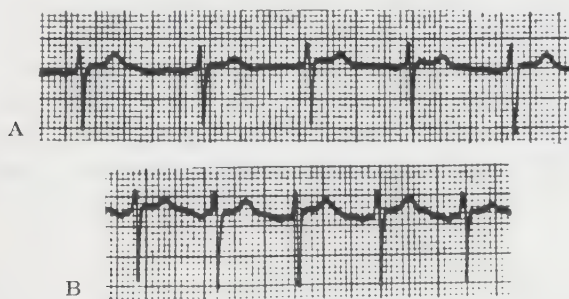


Fig. 2. Sujet F. G. Dérivation CF₃. A = ECG transmis de l'avion, au sol peu avant le décollage. Respiration libre. B = ECG transmis de l'avion à l'altitude de 7000 m. sur mer. Vol horizontal rectiligne, 1 G. Respiration d'oxygène.

L'inversion de l'onde P, chez le sujet P. K. (fig. 3 B), survenant régulièrement entre 2 et 3 G. Cette apparition d'un rythme sus-nodal nous semble être un effet de l'excitation du système neuro-végétatif qui tend à compenser les variations de la pression artérielle, lors des accélérations.

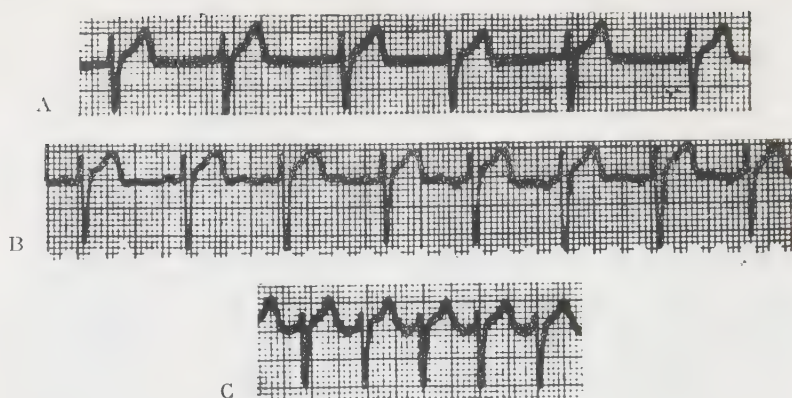


Fig. 3. Sujet P. K. Dérivation CF_3 . Effets de l'accélération. A = à 6000 m. sur mer. Vol horizontal, 1 G ; respiration d'oxygène. B = Mêmes conditions, sauf accélération qui passe de 2 à 3 G ; apparition d'un rythme sus-nodal (P négatif). C = Même altitude ; accélération 6 G. Tachycardie régulière sus-nodale.

L'onde P était déjà négative au repos, en CF_3 , dérivation utilisée pour ces vols, sur les tracés des deux autres sujets.

L'abaissement de l'onde R, que Gauer (3) considère comme un signe apparaissant avec grande constance dans les tracés de cœurs soumis aux accélérations positives. Cette modification présente sur les tracés des trois sujets est particulièrement apparente sur le tracé de la fig. 3 C. L'enregistrement simultané en plusieurs dérivations permettrait toutefois de mieux juger dans quelle mesure il s'agirait ici d'une altération intrinsèque de l'électrocardiogramme, ou d'une déviation de l'axe électrique du cœur, par déplacement de l'organe.

L'accélération du rythme cardiaque, apparue parallèlement chez les trois sujets. Elle accompagne en premier lieu la tension nerveuse psychique et l'activité physique du pilote en vol. Le pouls du sujet F. G. (fig. 2) passe ainsi de 75 pulsations par minute, au sol avant le départ, à 85 pulsations en vol rectiligne. L'hypoxie, cause habituelle de la tachycardie en altitude, est exclue ici. D'autre part, les violentes impulsions du système neuro-végétatif qui accompagnent les différentes accélérations du vol influencent brutalement la fréquence cardiaque ; l'augmentation de cette dernière, fonction du « stress » circulatoire (4), est évidente sur les

tracés du sujet P. K, par exemple (fig. 3). De 60 pulsations par minute à 1 G, son pouls a passé à 120 pulsations à 6 G.

La tension d'oxygène alvéolaire de 270 mm. Hg, et la brièveté de l'accélération expliquent le fait que malgré la vacuité relative du cœur soumis à ces 6 G, aucun signe d'hypoxie myocardique n'apparaisse sur ce tracé.

L'arythmie sinusale. Ce signe témoignant du déséquilibre neurovégétatif que déclenche l'alternance rapprochée des influences cinétiques lors des vols à grande vitesse dans les remous, se manifeste particulièrement chez le sujet R. G, dont les tracés ne traduisent, au repos, que des signes peu marqués de labilité neurovégétative ; sur un tracé de moins de 6 sec., pris en vol, l'intervalle R-R mesure successivement : 0,7 — 0,68 — 1,14 — 0,98 — 0,9 — 0,8 sec.

Comme le démontrent les expériences, ce dispositif de transmission sans fil de l'électrocardiogramme permet de surveiller avec précision l'activité cardiaque d'un sujet en vol. Il rend possible l'étude des réactions physio-pathologiques consécutives aux multiples effets du vol et qu'aucune installation n'était parvenue à imiter jusqu'ici ; pour ces raisons l'instrument décrit est spécialement approprié au contrôle cardiologique des pilotes d'avions à hautes performances.

Quant à la transmission de l'électrocardiogramme par téléphone, autre possibilité qu'offre ce dispositif, elle nous paraît devoir être réservée à quelques situations exceptionnelles dans la pratique médicale courante.

Résumé.

Une méthode de transmission sans fil de l'électrocardiogramme des pilotes en vol, à l'aide d'un dispositif à modulation de fréquence adjoint à l'émetteur radio standard de bord, est décrite. Ce dispositif permet la transcription fidèle et exempte de perturbations de l'électrocardiogramme, en une ou plusieurs derivations.

Plusieurs exemples d'électrocardiogrammes radio-transmis par ce procédé, à partir d'un avion « De Havilland Vampire » sont reproduits, et font l'objet de commentaires physiologiques.

D'autres applications sont envisagées.

Zusammenfassung.

Es wird eine Methode drahtloser Übertragung des Elektrokardiogrammes von Piloten während des Fluges beschrieben. Die Übertragung erfolgt mit Hilfe eines, der üblichen Bordfunkanlage angeschlossenen, durch Frequenzmodulation gesteuerten Gerätes. Die Anlage erlaubt eine unverzerrte und störungsfreie Aufzeichnung des Elektrokardiogrammes in einer oder mehreren Ableitungen.

Mehrere Beispiele von Elektrokardiogrammen, die auf diese Weise aus einem «De Havilland Vampire» übertragen wurden, werden wiedergegeben und zum Gegenstand physiologischer Erörterungen gemacht.

Auf weitere Anwendungsmöglichkeiten wird hingewiesen.

Summary.

A method of wireless transmission of the electrocardiogram of pilots in flight is described. Transmission is done by means of a frequency modulated device, connected to the standard aircraft-transmitter. The device enables the electrocardiogram to be recorded without distortion nor atmospheric, in one or several leads.

Several recordings of electrocardiograms radio-transmitted from a flying "De Havilland Vampire" are reproduced and discussed.

Further applications are considered.

Bibliographie.

1. *Diringshofen, H. von, und B. von Diringshofen:* Acta Aerophysiol. 1, 48, 1933-1934; *Poppi, A., e G. C. Rovigatti:* Policlinico (Practica) 46, 101, 109, 1939; *White, M. S.:* J. Av. Med. 11, 166, 1940. — 2. *Lambert, E. H.:* Federation Proceedings 5, 1, 1946. — 3. *Gauer, O.:* German Aviation Medicine World War II, 554, 1950. — 4. *Jongbloed, J., und A. K. Noyons:* Acta brev. neerl. physiol. 2, 90, 1932; Pflüg. Arch. 233, 67, 1933-1934; *Ruff, S.:* Luftfahrtmed. 2, 116, 1938; *Matthes, M.:* Luftfahrtmed. 4, 123, 1940.
-

Curriculum Vitae.

Rolf Glatt de Känerkinden (Bâle-Campagne). Né le 27 Février 1923 à Zurich. Ecoles primaires à Genève ; Collège de Genève, Section latine : Maturité latine ; Etudes médicales à l'Université de Genève ; Diplôme fédéral de médecin en automne 1950 à Genève. 6 mois de stages à l'Hôpital Cantonal de Genève, Clinique Médicale (Professeur Roch). 15 mois de stage à l'Institut de Médecine d'Aviation Militaire Suisse (Dr K. Wiesinger, P.-D.). Brevet de pilote militaire suisse en 1945.

